



Imagerie MIMO ULB à haute résolution par un composant passif à port unique

Thomas Fromenteze, Cyril Decroze, David Carsenat, Ettien Lazare Kpré

► To cite this version:

Thomas Fromenteze, Cyril Decroze, David Carsenat, Ettien Lazare Kpré. Imagerie MIMO ULB à haute résolution par un composant passif à port unique. XIXèmes Journées Nationales Microondes, Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01213878

HAL Id: hal-01213878

<https://hal-unilim.archives-ouvertes.fr/hal-01213878>

Submitted on 9 Oct 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Imagerie MIMO ULB à haute résolution par un composant passif à port unique

Thomas Fromenteze, Cyril Decroze, David Carsenat, Ettien. L. Kpré

Institut de Recherche Xlim, Université de Limoges, France
thomas.fromenteze@unilim.fr

Résumé

Une technique de compression permettant l'acquisition d'images RADAR 3D à haute résolution est présentée dans cet article. Basée sur un principe d'acquisition comprimée, les informations reçues par un réseau d'antennes MIMO ULB sont mesurées sur un port unique. Après reconstruction des formes d'ondes reçues en post-processing, il est alors possible de réaliser des images 3D de façon rapide grâce aux développements récents en terme d'algorithmes MIMO.

1. Introduction

Les récentes améliorations des RADAR microondes à haute-résolution ont été rendus possibles grâce aux développements de systèmes MIMO (Multiple-Inputs Multiple-Outputs) fonctionnant en ultra-large bande, permettant ainsi un accroissement conjoint des quantités d'informations spatiales et temporelles mesurées [1]. Les applications de tels systèmes sont multiples, allant du domaine médical à la détection d'armes enfouies. Cependant, l'implémentation de ces techniques à grande échelle est fortement limitée par le coût et la complexité des systèmes actifs ULB multipliés par le nombre de voies d'émission et de réception. Ainsi, une technique a été introduite dans [2] afin de réduire la complexité des systèmes actifs nécessaires au fonctionnement des RADAR ULB. Cette méthode de multiplexage passif utilise la propagation au sein d'un composant dispersif afin de compresser les formes d'ondes émises ou reçues. Ce principe a été étendu dans [3] au cas des RADARs MIMO, réalisant un prototype fonctionnant de façon passive dans le domaine ultra large bande. La théorie associée à cette technique est présentée dans la section suivante, suivie de résultats expérimentaux.

2. Principe théorique

Un montage illustratif est présenté en figure (1). Une mesure en réflexion est réalisée à l'entrée du composant compressif de canaux $[H(f)]$, reliant le port d'accès aux N antennes. Le signal mesuré $S(f)$ correspond alors au produit matriciel suivant :

$$S(f) = \underbrace{[H(f)]}_{1 \times N} \underbrace{[M(f)]}_{N \times N} \underbrace{[H(f)]^T}_{N \times 1}, \quad (1)$$

avec $[M(f)]$ la réponse fréquentielle entre chaque couple d'antennes d'émission et de réception correspondant à la signature des cibles.

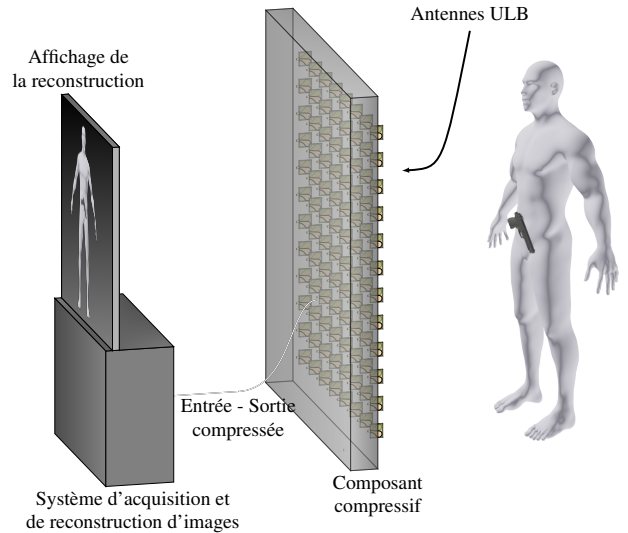


Figure 1. Illustration d'un RADAR MIMO ULB à port d'accès unique. Les formes d'ondes émises et reçues par le réseau d'antennes sont codées par la propagation dans un composant compressif, permettant la mesure d'une unique forme d'onde.

Afin d'extraire la réponse des cibles du signal comprimé mesuré en réflexion du composant passif, des matrices de pseudo-inverses sont d'abord calculées par une régularisation de Tikhonov :

$$[H(f)]^+ = ([H(f)]^\dagger [H(f)] + \beta [I_N])^{-1} [H(f)]^\dagger \quad (2)$$

où β est un paramètre de régularisation permettant d'améliorer le conditionnement du terme inversé et \dagger est l'opérateur transposé-conjugué. Si les canaux $[H(f)]$ sont orthogonaux entre eux, on a alors :

$$[H(f)]^+ [H(f)] = [H(f)] [H(f)]^+ = [I_N] \quad (3)$$

Ainsi, une estimation $[M_r(f)]$ de $[M(f)]$ peut être calculée :

$$[M_r(f)] = [H(f)]^+ [S(f)] ([H(f)]^+)^T \quad (4)$$

A partir de l'équation (3), le développement suivant est réalisé :

$$[M_r(f)] = \underbrace{[H(f)]^{-1} [H(f)]}_{[I_N]} [M(f)] \underbrace{[H(f)]^T ([H(f)]^{-1})^T}_{[I_N]} \quad (5)$$

menant à une parfaite reconstruction de la réponse des cibles. En pratique, cette déconvolution ne peut pas être idéale pour une fréquence unique, mais l'effet constructif en temporel permet de s'en approcher en fonction du niveau de corrélation des canaux. Cette technique est donc d'autant plus efficace que la bande passante utilisée est importante, permettant d'augmenter la diversité fréquentielle des canaux et de limiter leurs niveaux de corrélation. Dans la prochaine section, la faisabilité de ce principe est démontrée par un montage expérimental.

3. Montage expérimental et mesures

Le composant utilisé pour cette preuve de concept est une cavité reverberante de $0.6m^3$ dans laquelle une port d'entrée et 20 ports de sortie sont reliés à des sondes ULB (Fig. 2).

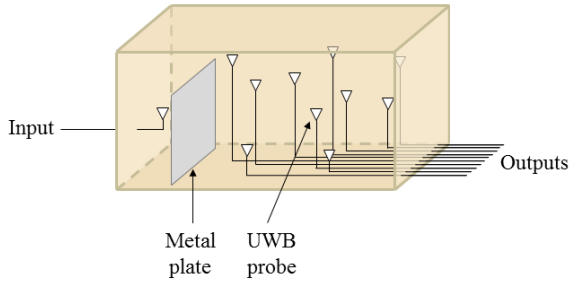


Figure 2. Représentation schématique de la cavité reverberante utilisée comme composant dispersif.

Une mesure des canaux dispersifs du composant compressif est réalisée dans la bande $2 - 10GHz$ à l'aide d'un VNA Rohde and Schwarz ZVL 13 (Fig. 3).



Figure 3. Caractérisation des canaux de la cellule réverbérante et vue des sondes ULB utilisées pour les créer.

Le niveau de corrélation entre chaque couple de canaux est calculé (Fig. 4). Un rapport moyen de 17 relevé

entre les niveaux d'autocorrélations et d'intercorrélations permet d'assurer une projection inter-signaux limitées lors de l'étape de reconstruction.

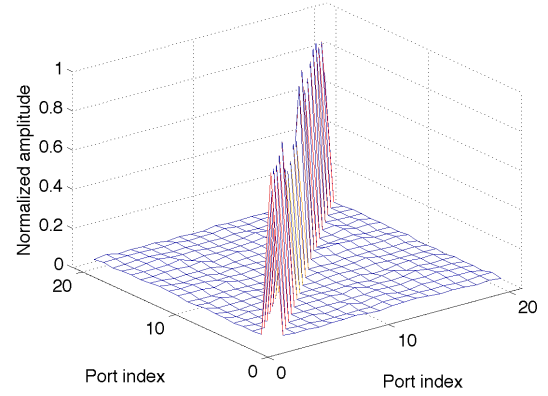


Figure 4. Niveau de corrélation maximum entre chaque couple possible de canaux et de pseudo-inverses.

Des antennes Vivaldi adaptées à partir de [4] sont ensuite connectées aux sorties du composant dispersif et disposée en réseau rectangulaire 4×5 , en utilisant un espace inter-éléments de $6.25cm$ (Fig 5).

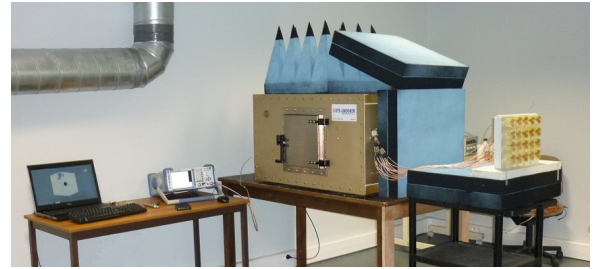


Figure 5. Montage du RADAR MIMO à port unique

Une mesure RADAR est réalisée afin d'imager une sphère métallique de $7.5cm$ de diamètre placée à $50cm$ en regard du réseau (Fig 6). À partir des signaux reconstitués, une image en trois dimensions est calculée à l'aide d'un algorithme de backpropagation (Fig. 7).

L'image 3D de la sphère métallique est reconstruite, malgré la présence quelques résidus spatiaux probablement liés à de légères modifications des canaux $[H(f)]$ depuis l'étape de caractérisation.

Dans la mesure où l'approche développée reste équivalente aux systèmes MIMO conventionnels, il est possible de disposer d'une ouverture synthétique plus grande en utilisant le même nombre d'antennes au moyen d'un réseau en croix [5]. L'ouverture équivalente ainsi créée correspond à la convolution spatiale de la position des antennes d'émission et de réception et permet de mettre en évidence la faible redondance spatiale d'informations qui tend à apparaître dans le cas du réseau rectangle utilisé en

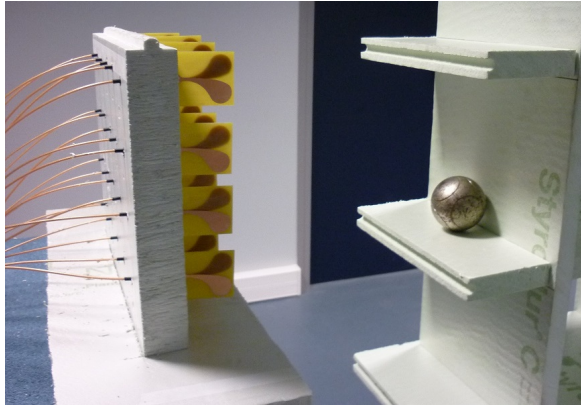


Figure 6. Cible sphérique placée en face du réseau rectangulaire.

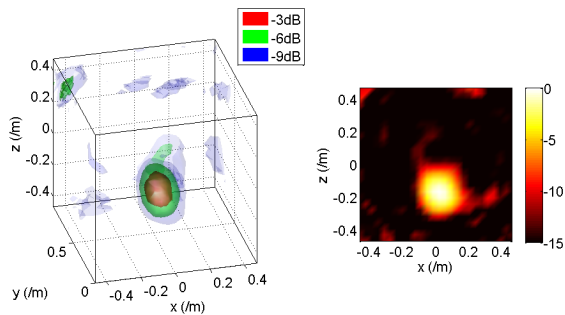


Figure 7. Gauche : Image 3D reconstruite à partir du signal comprimé - Droite : Coupe à une distance de 50 cm.

MIMO. La figure (8) présente le montage du réseau utilisé pour lequel l'espacement entre antennes de 6.25cm sur chaque branche est utilisé.

Cette mesure reproduit une expérience présentée dans [5] où un algorithme rapide de Range Migration basé sur une décomposition en ondes planes est adapté au cas MIMO. Le but de cette expérience est ainsi d'exploiter la rapidité de cette approche conventionnelle et de l'adapter au cas compressif étudié. Après capture d'un unique signal mesuré par l'analyseur de réseau, la matrice d'interaction des antennes avec la scène est reconstruite puis traitée par l'algorithme d'imagerie présenté dans [5]. Une forme d'arme à feu est utilisée pour cette expérience, afin de présenter les performances de cette technique pour des cibles plus complexes et d'introduire sa potentielle implémentation au domaine de la détection d'objets enfouis. L'image obtenue en 3D ainsi qu'une coupe dans le plan de la cible sont présentées en figure (9). Cette image a été calculée en moins de 2s grâce à l'implémentation de l'algorithme de Range Migration.

La reconstruction obtenue permet de retrouver la forme de l'arme à feu dans l'espace. Une rotation de 45° de la scène est obtenue lors de l'application de l'algorithme rapide introduit dans [5], dû à une reconstruction orientée selon les branches du réseau en croix.

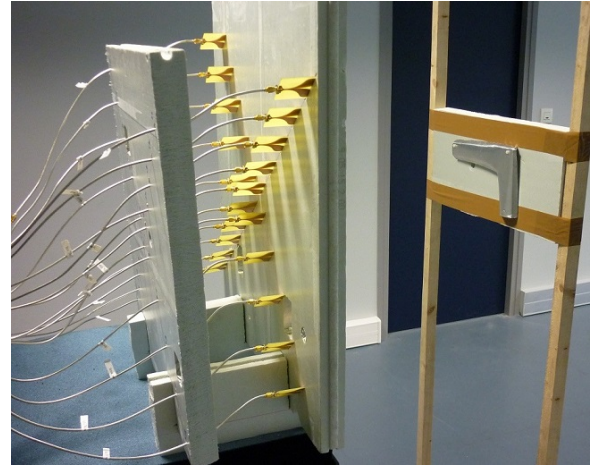


Figure 8. Réseau en croix utilisant le même nombre d'éléments que précédemment, connecté à la cellule réverbérante.

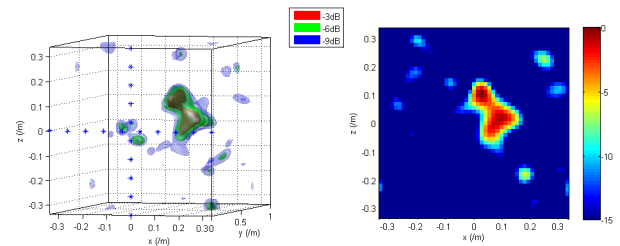


Figure 9. Reconstruction d'une cible en forme d'arme à feu en 3D et extraction d'une image 2D dans le plan de la cible. La scène a subi une rotation de 45° du fait de l'algorithme rapide d'imagerie utilisé [5].

4. Conclusion

Une méthode d'imagerie à haute résolution ne nécessitant que la mesure d'un unique signal a été réalisée. Cette preuve de concept permet de démontrer la possible réduction de complexité des architectures actives mises en jeux dans les systèmes d'imagerie microonde MIMO. Dans la mesure où la qualité de la reconstruction des signaux dépend de la diversité fréquentielle des canaux du composant compressif, cette technique est particulièrement bien adaptée au domaine ULB, voyant ses performances augmenter avec la bande passante utilisée contrairement à l'ensemble des systèmes existants. Le principe d'acquisition "one shot" permettrait l'implémentation de cette technique dans de nombreux domaines allant de la détection d'objets enfouis à l'imagerie médicale. Une fois les signaux reconstruits par pseudo-inversion, cette approche est compatible avec l'ensemble des algorithmes d'imagerie développés pour les systèmes conventionnels, permettant de s'adapter aux contraintes de temps de calcul et de complexité de cible, impliquant par exemple des formes complexes et des matériaux hétérogènes.

Un nouveau composant a été développé pour de futures expériences (Fig. 10). Les câbles reliant les antennes au composant compressif ont été supprimés dans la mesure où ils représentaient la plus grande source d'instabilité. De prochaines études théoriques et expérimentales seront ainsi menées afin d'améliorer la reconstruction des signaux compressés et la qualité des images haute-résolution obtenues par cette technique.

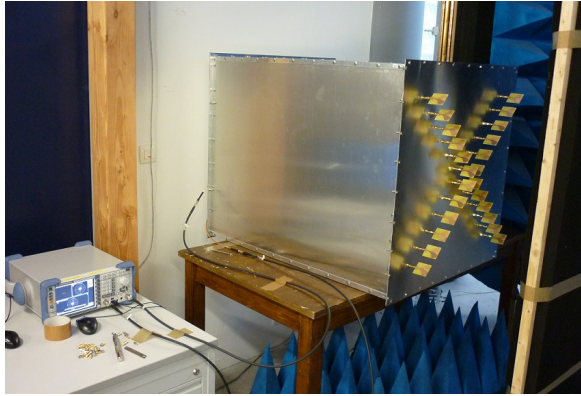


Figure 10. Nouveau système compressif appliqué à l'imagerie microonde MIMO ULB "One shot".

Références

- [1] D.W. Bliss et K.W. Forsythe, "*Multiple-input multiple-output (MIMO) radar and imaging : degrees of freedom and resolution*" Sig, Sys and Comp, Conf. on. Vol. 1. IEEE, 2003.
- [2] D. Carsenat et C. Decroze, "*UWB Antennas beamforming using passive time reversal device*, IEEE Ant. Wire. Prop. Lett., vol.11, pp.779-782, 2012.
- [3] T. Fromenteze, C. Decroze et D. Carsenat, "*Passive UWB multiplexing device for a single-port MIMO RADAR*", Microwave Symposium (IMS), 2014 IEEE MTT-S International , vol., no., pp.1,4, 1-6 June 2014.
- [4] X. Zhuge et A.G. Yarovoy, "*Design of low profile antipodal Vivaldi antenna for ultra-wideband near-field imaging*" Antennas and Propagation (EuCAP) Proceedings of the Fourth European Conference on. IEEE, pp. 1-5, 2010.
- [5] X. Zhuge et A.G. Yarovoy, "*Three-Dimensional Near-Field MIMO Array Imaging Using Range Migration Techniques*", Image Processing, IEEE Transactions on, vol.21, no.6, pp. 3026-3033, 2012.